

電子ビーム露光法による微細加工技術とGHz帯弾性表面変換器への応用に関する研究

著者	目黒 敏靖
号	1791
発行年	1997
URL	http://hdl.handle.net/10097/10598

氏 名	めぐろ としやす 目黒 敏靖
授 与 学 位	博士（工学）
学位授与年月日	平成10年 1月 14日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最 終 学 歴	昭和37年3月 仙台電波高等学校 本科 卒業
学位論文題目	電子ビーム露光法による微細加工技術と GHz帯弾性表面波変換器への応用に関する研究
論文審査委員 主査	東北大学教授 山之内 和彦 東北大学教授 中村 僖良 東北大学教授 櫛 引 淳一

論文内容要旨

弾性表面波（SAW）デバイスは、すでに、TVやVTR用のフィルタ、コンバータ、発信器用の共振器、さらに、各種移動通信用フィルタとして、民生、通信の分野で広く実用化されている。

近年、通信・情報量の増大に従い、移動体通信分野では、高周波化が進んでいるが、使用周波数帯をさらに高周波化しなければならないのが現状である。このような中で、すだれ状電極（IDT）の更なる微細化が急務であり高周波帯（GHz）でのIDT作製の微細加工技術の確立が重要な課題となってきた。

現在、微細パターンを作製するリソグラフィ技術は、紫外光を光源とする光露光技術（フォトリソグラフィ）が主流である。フォトリソグラフィは、光源、露光方法、レジスト等の開発で、著しく発展してきているが、現在、実用的には、 $0.25\mu\text{m}$ が限界と見られている。

本研究で目的とするライン幅が $0.2\mu\text{m}$ 以下の微細パターンを作製することは、フォトリソグラフィでは困難である。フォトリソグラフィに代わるものとして、本研究では、電子ビーム露光法を検討し、GHz帯SAW変換器へ応用した研究成果について述べている。本論文は、全6章から構成されており、第2章以下の各章での内容の要旨は、以下の通りである。

第2章では、電子ビーム露光法による微細加工技術をサブミクロン以下のGHz帯SAWデバイスの電極作製に应用する場合の問題点について検討している。電子ビーム露光特有の近接効果による影響を調べるため、電子線レジストとして高解像度の得られるポジ型レジストであるPMMAを取り上げ、露光装置として、JBX-5A型（日本電子製）を用いて、レジスト膜厚と分解能、レジスト膜厚とドーズ量、ドーズ量とパターン幅の関係やレジスト現像時の現像液温度と現像時間等の各種パラメータについて実験により最適条件を求めている。

図. 1にプリベーク温度とドーズ量の関係を示す。レジストは塗布後、露光する前に基板への密着性と安定性を得るためにプリベークが必要である。ベーク温度が低くなるに従い感度が上がり出す、それにつれ、解像度が低下する。 170°C と 80°C のレジストパターンのSEM像を(b)に示す。図. 2にレジスト膜とドーズ量の本線露光と複数本露光で、電極周期を変えて露光した場合のドーズ量を示す。いずれの場合もレジスト膜が薄くなるとドーズ量が少なくてよいことが判る。また、ドーズ量は、ビーム電流、レジスト膜厚の他に現像液温度と現像時間に大きく依存することを明らかにしている。

ウェットエッチング法で電極を作製する場合、予めAl膜を最適な条件で成膜できるので、リフトオフ法に比べて密着性の良い電極が作製できるが、いくつかの問題があり、その一つにポストベーク時にパターンが変形する問題がある。現像処理後のレジストパターンは、レジスト膜とAl膜の密着力増加とサイドエッチングによる加工精度の低下を防止するため、エッチング前にポストベーク処理を行う必要がある。あまり高い温度でベークを行うとレジストパターンがくずれる問題が指摘されており、 $1\mu\text{m}$ 以下の線幅で顕著に現れる。図. 3にレジスト線幅と変形開始温度の関係を示す。図中、■印は、Arイオン照射によって変形開始温度がこの印まで上昇したことを示している。この方法により、これまで問題となっていた変形開始温度を引き上げることができることを見出した。

また、レジストの耐薬品性の問題がある。従来から使用されているエッチング液にPMMAレジストが耐えられないことが判り、PMMA専用のエッチング液を開発した。図. 4に開発したエッチング液のエッチング液温度とエッチング時間の関係を示す。

リフトオフ法による電極作製の場合、Al膜の密着力が弱いことが指摘されているが、図. 5に示すような酸素プラズマ灰化を併用したリフトオフ法により、密着性のよい電極膜を得ることができた。

最適条件で作製したパターンを用いてウェットエッチング法とリフトオフ法を比較検討した。その結果、電極作製には、酸素プラズマ灰化法を併用したリフトオフ法がレジストパターン通りの精度で電極が作製でき、工程もエッチング法より簡便であり、サブミクロン以下の電極作製には、リフトオフ法が適している。

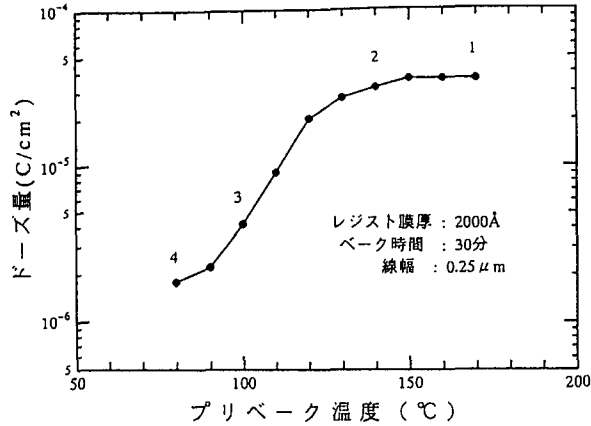
第3章では、陽極酸化法を従来のIDTより高周波化が可能な微小ギャップ構造SAW変換器に応用するための基礎実験を行っている。SAWデバイスの基礎となるIDTは、通常、電極とギャップが $\lambda/4$ となるラインアンドスペース比が1:1の構造である。微小ギャップ変換器(NG-IDT)は、電極幅が従来の構造に比べて約2倍となるので電極幅が広がる分、電極作製技術が容易になる。また、従来のIDTと同一線幅にするならば、2倍の動作周波数が得られるので、高周波化には特に有効である。この微小ギャップは、これまでレジストのオーバーハングを利用したエアギャップであったため、サブミクロン以下では、ギャップの制御が困難であり、電極間の分離と絶縁に不安定要素があった。このギャップの代わりに陽極酸化法によりAl電極の一部を Al_2O_3 膜にすることで電極間の分離、絶縁が確実にできるようになった。陽極酸化の電解液として、酸性液及び中性液について検討し、SAWデバイスに重要な薄い膜厚でも所望の膜厚が得られることを確認した。また、酸化膜の絶縁耐圧についても検討し、図. 6に示す様に、十分な耐圧が得られた。中性液で得られる絶縁耐圧は、エアギャップより2桁高い値であることが実験により明らかになった。図. 7に陽極酸化によるNG-IDTの作製法を示す。陽極酸化法によるNG-IDT構造でGHz帯の動作が確認された。

第4章では、第2章で得られた最適条件の下で電極を作製し、GHz帯弾性表面波フィルタに応用した例について述べている。128°Y-X LiNbO₃基板上に電子ビーム直接露光法でパターンを描画し、酸素プラズマを併用したリフトオフ法でAl電極を作製した。電極幅: 0.1875 μ m、Al膜厚: 600 ÅのAl電極が精度良く作製された。この電極による周波数特性を図. 8に示す。f = 5.1 GHzで挿入損失: 7.5 dBが得られている。図. 5のプロセスでCr膜をエッチングする際、ナノメータ幅のパターンはダメージを受けることが判かった。そこで、電子ビームのチャージアップを防ぐためのアース回路をレジスト膜の上にAu膜を蒸着して導体とした。この方法で得られたAl電極パターンのSEM像を図. 9に示す。線幅: 0.09 μ m、ギャップ: 0.08 μ mの電極が得られている。この電極によるSAWの周波数特性を図. 10に示す。f = 11.2 GHzで挿入損失 26 dB が得られ、10 GHz帯の弾性表面波の実験に成功した。

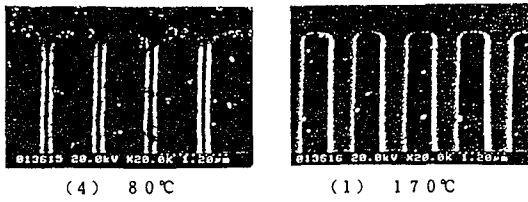
第5章では、IDTを低損失化し、不要なTTE信号を取り除き、特性を改善するため、浮き電極を用いた内部反射型一方向性変換器(FEUDT)について検討している。

GHz帯でのSAW変換器は、規格化膜厚が大きくなるため、反射波の影響で帯域内に大きなリップルが生じる。この内部反射を積極的に利用できる浮き電極を用いた内部反射型一方向性変換器について検討し、より高周波化がはかれる微小ギャップ構造を応用したNG-FEUDTについて基礎実験を行った。NG-FEUDTは、最小電極幅が $\lambda_0/5$ で、2次高調波が強く励振され、大きな方向性が得られることが実験により判った。この構造で得られた6 GHz帯のフィルタ特性を図. 11に示す。6.04 GHzで挿入損失 19.4 dBの特性が得られた。更に、検討を加えることにより、より高周波帯で低損失化が可能である。

電子ビーム直接露光法によるパターンの作製は、極一部でしか実用化されていない。それは、他のリソグラフィに比べて、まだスループットが低いため、もっぱらマスク製造に使用されている。しかし、近い将来、光リソグラフィでは実現できないナノメータオーダーのパターン作製には、電子ビーム露光法を中心としたリソグラフィ技術が必須である。一方、エッチング技術は、ドライエッチングが主流である。しかし、ドライエッチングやケミカルエッチングで問題となっている基板の損傷や腐食、アンダーカットの問題が回避され、レジストパターン通り、高精度な電極作製ができる酸素プラズマ灰化法を併用したリフトオフ法は、GHz帯IDT作製に有効な超微細加工技術の一つであると言える。



(a)



(4) 80°C

(1) 170°C

(b) レジストパターンSEM像

図. 1 プリベーク温度とドーズ量

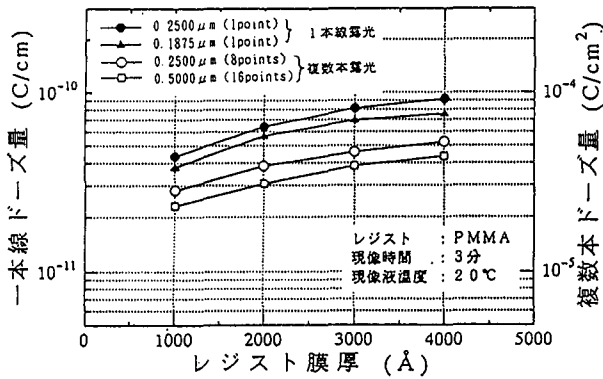


図. 2 レジスト膜厚とドーズ量

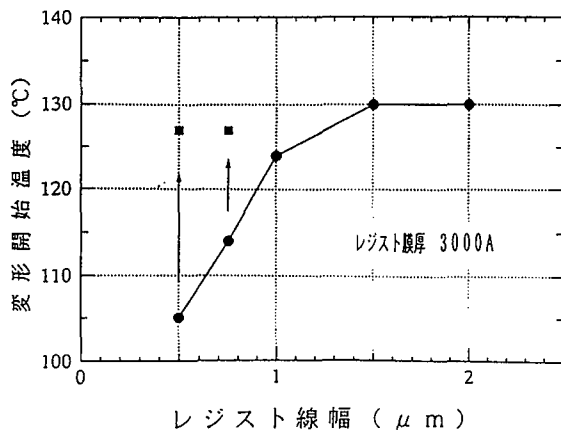


図. 3 レジスト線幅と変形開始温度の関係

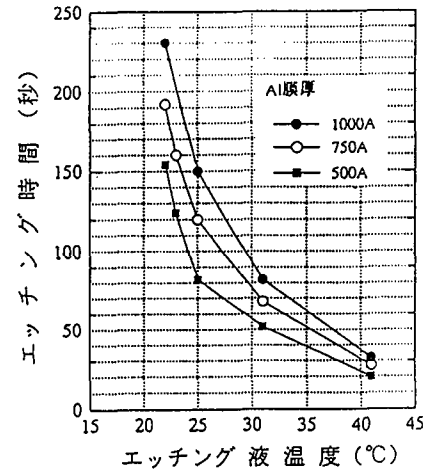


図. 4 エッチング液温度とエッチング時間の関係

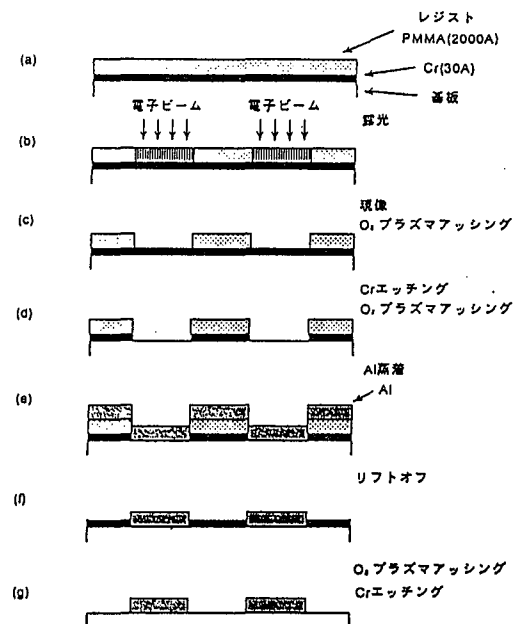


図. 5 酸素プラズマ灰化を併用したリフトオフ工程

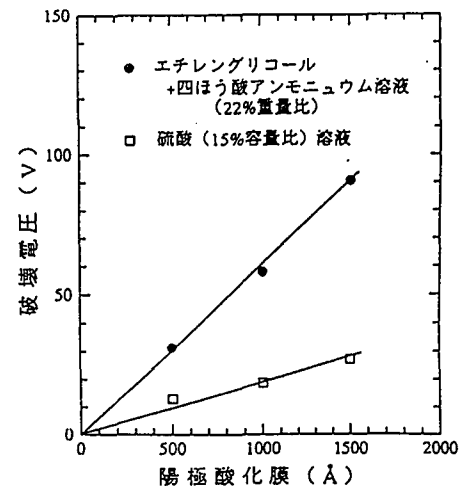


図. 6 陽極酸化膜厚と破壊電圧の関係

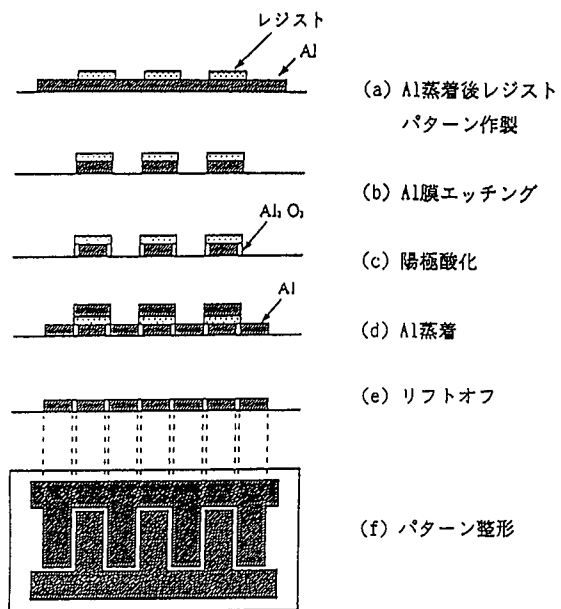


図. 7 陽極酸化法によるNG-IDT
の作製法

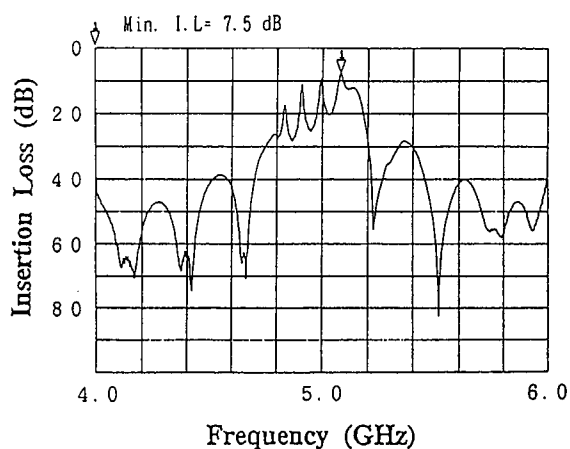


図. 8 5 GHz 帯の周波数特性
(電極幅: $0.1875 \mu\text{m}$)

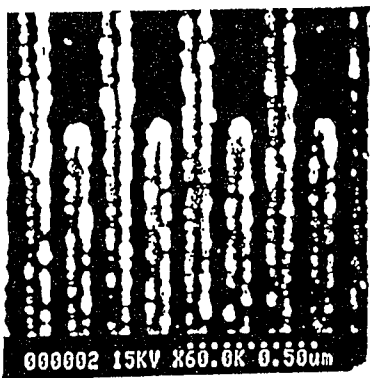


図. 9 Al 電極 パターンのSEM像
(線幅: $0.09 \mu\text{m}$, ギャップ: $0.08 \mu\text{m}$)

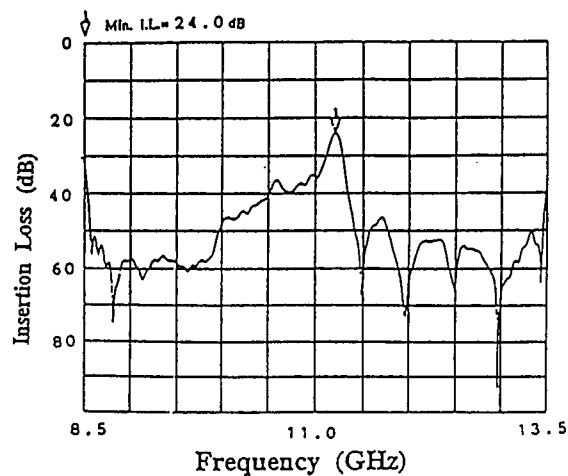


図. 10 10 GHz 帯 SAW の周波数特性

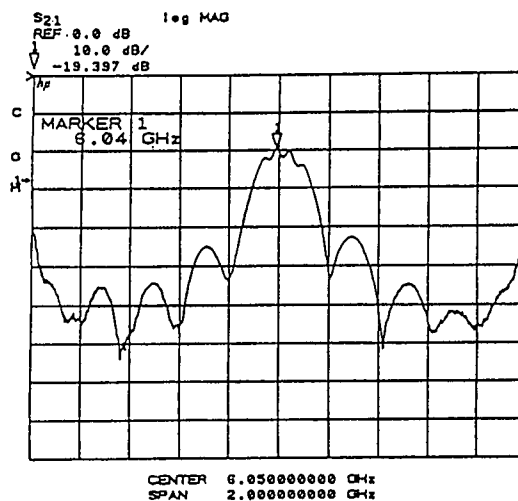


図. 11 NG-FEUDT のフィルタ特性
(2次高調波)

審査結果の要旨

移動体通信分野では、通信・情報量の増大に伴い、使用周波数帯の高周波化が望まれている。このような中で、弾性表面波（SAW）デバイスは、小型軽量高安定かつ量産性に優れたデバイスとして注目されているが、高周波化のためには、すだれ状電極（IDT）の微細化が重要な課題である。本論文は、電子ビーム露光法による微細加工を検討し、GHz帯の弾性表面波変換器へ応用した研究成果を纏めたもので、全編6章からなる。

第1章は緒論である。

第2章では、電子ビーム露光法による微細加工技術をサブミクロンのGHz帯SAWデバイスの電極作製に応用する場合の問題点について検討している。電子ビーム露光特有の近接効果による影響を調べるため、電子線レジストとして高解像度の得られるポジ型レジストであるPMMA（ポリメチルメタアクリレート）を取り上げ、レジスト膜厚と分解能、ドーズ量とパターン幅の関係等について実験により最適条件を求めると共に、Arイオン照射によってレジストのプリベークのための変形開始温度を上昇させることにより強固なレジストパターンが得られることを見出した。これは、実用上有用な成果である。

第3章では、従来のIDTの電極幅に比べて、2倍の周波数動作の可能な陽極酸化微小ギャップすだれ状電極を用いたGHz帯の弾性表面波素子の作製法と弾性表面波の実験結果について述べている。微小ギャップを陽極酸化法によりAl電極の一部を Al_2O_3 膜にすることで電極間の分離、絶縁を確実にするための作製手順を確立した。また、酸化膜の絶縁耐圧についても検討し、 $0.1\mu m$ 幅で50Vと十分な耐圧が得られることを明らかにした。更に、この電極を用いて弾性表面波の送受実験を行い、トリプルトランジットエコー（TTE）の小さい良好な送受特性を得た。

第4章では、第2章で得られた最適条件の下で電極を作製し、GHz帯弾性表面波フィルタに応用した例について述べている。 $128^\circ Y-X LiNbO_3$ 基板上に電子ビーム直接露光法でパターンを描画し、酸素プラズマ灰化を併用したリフトオフ法で、電極幅： $0.18\mu m$ 、膜厚： $60nm$ のAl電極を精度良く作製している。弾性表面波の実験により、中心周波数11.2GHzで挿入損失24dBと初めて10GHz帯の弾性表面波の送受に成功した。第5章では、内部反射を積極的に利用することにより不要なTTE信号を抑圧した浮き電極構造の低損失内部反射型一方向性変換器（FEUDT）をGHz帯に応用する研究について述べている。特に、この電極を高周波化の可能な微小ギャップ構造に応用し、最小電極幅が基本動作波長の5分の1で、2次高周波が強く励振され、大きな方向性が得られることを実験により明らかにすると共に、弾性表面波の送受実験により、6GHz帯で低挿入損失特性を得た。これは、実用上有用な成果である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、電子ビーム露光法によるナノメートル幅の電極の作製法を確立し、この電極を弾性表面波変換器に応用し、GHz帯の弾性表面波の送受の実験に成功した研究成果を纏めたものであり、電子通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。